

## 磁気録画装置の設計に関する基礎的研究

著者	横山 克哉
号	74
発行年	1968
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/11023">http://hdl.handle.net/10097/11023</a>

氏 名 ( 本 籍 )	横 山 克 哉 ( 宮 城 県 )
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 第 7 4 号
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 4 4 年 3 月 5 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
最 終 学 歴	昭 和 3 2 年 3 月 東 北 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科 修 士 課 程 電 気 及 通 信 工 学 専 攻 修 了
学 位 論 文 題 目	磁 気 録 画 装 置 の 設 計 に 関 する 基 礎 的 研 究 ( 主 査 )
論 文 審 査 委 員	教 授 岩 崎 俊 一 教 授 大 泉 充 郎 教 授 佐 藤 利 三 郎 教 授 津 屋 昇

## 論 文 内 容 要 旨

### 1 緒 論

現在、テレビ放送番組は、その7割ないし8割は磁気録画装置（VTR）により送り出されている。

これは、VTRが画質、運用性など、他の録画装置よりすぐれた特長をもっているためである。

さらに、テレビ放送事業の発展に伴い、VTRの電子計算機システムによる操作運用、自動編集による番組内容の多様化などが必要とされ、技術的には、VTRによるカラーテレビ信号の数度の複製によっても劣化の認められないこと、VTR機器およびビデオテープの小形化、信頼性向上のため特性に余裕を持たせることなどに関連して、VTRの再生画質に対する改善が強く望まれている。

従来VTRの信号系に関しては、

- ① VTRテープ・ヘッド系（VTRの記録ビデオヘッドから再生ビデオヘッドまでの系）のFM伝送特性が定量的に不明であった。
  - ② VTR信号系のノイズ特性については全く技術資料がなかった。
  - ③ VTR信号系各部の特性と要改善項目とが錯綜した関係にあり、整理されていなかった。
- ことにより、信号系の設計法が確立していなかった。

本研究は、放送用VTRの画質改善を主目的に、上記3点の解明を主テーマとして行ない、放送用VTR信号系の設計法を確立した。

## 2 FM信号のVTRテープ・ヘッド系伝送

VTRテープ・ヘッド系の特性により、VTRの再生映像信号には次のような特徴をもつ歪を生ずる。

- ① 映像周波数特性が劣化する。映像信号の高周波成分が強調される。
- ② 映像信号の高周波成分の微分特性が劣化する。この場合、微分位相の劣化はないが微分利得が劣化する。
- ③ 映像信号の高周波成分に反転現象を生ずる。（本文2-2節）

これら歪の原因を説明するには、従来VTRテープ・ヘッド系の特性を示すとされていた、単1周波信号により測定された入力対出力特性では不十分であり、VTRテープ・ヘッド系の基本的特性としては、低搬送波FM信号伝送の見地からのダイナミックな特性を考慮する必要のあることを示した。（本文2-3、2-4節）

以上の観点より、映像信号の高周波成分についてのFM信号の擬似信号として位相ロックした重畳2周波信号をもちいたVTRテープ・ヘッド系の特性の測定（2周波法）を基礎として、低搬送波FM信号の再生信号について実験的に検討した結果、記録条件をおさえた場合

(A) 側帯波に関しては、

- ① 入力対出力特性の直線性
- ② 重畳性
- ③ 位相遅延時間特性の平坦さ

などの関係が周波数偏移を大きくしない範囲で成立する。

(B) この限界の周波数偏移は変調周波数に関して単調減少関数となる。

(C) 搬送波の入力対出力特性に関しては、上記条件のもとでは側帯波の存在の影響を受けない。などを明らかにした。（本文2-5-1～2-5-4節）

以上より、VTRテープ・ヘッド系のFM伝送特性に関しては、搬送波の動作点を抑えて記録

する場合には、実用上線系な取扱いが可能であり、上記の結果より映像信号の高周波成分特に振幅の大きい色副搬送波についての第1側帯波のみを考慮したFM伝送特性をもって、再生映像特性全体を抑えることが可能である。

以上の結果を使用して、VTRテープ・ヘッド系の低搬送波FM伝送特性は「搬送波レベルを基準とした側帯波の振幅周波数特性関数 $\xi_{\pm 1}$ 」を使用することによって示すことができることを明らかにした。(本文2-5-5節)

すなわち、側帯波再生電圧(上側帯波 $E_{+s}$ 、下側帯波 $E_{-s}$ )は、記録電流 $I_R$ 、搬送波(電流値 $I_c$ 、周波数 $f_c$ )、変調信号(周波数 $f_p$ )、変調指数 $m_p$ の関数であり、VTRに使用される $m_p < 1$ の浅い変調のFM信号の場合には、

$$m_p = 2 I_s / I_c, \quad I_R = I_c \quad (\text{但し } I_s \text{ は第1側帯波記録電流レベル})$$

の関係があるので、上記の制限された記録条件のもとでは、側帯波再生電圧は次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} E_{+s} &= I_s \Psi_{+1}(f_c, f_{+s}, I_R) \\ E_{-s} &= I_s \Psi_{-1}(f_c, f_{-s}, I_R) \\ (\text{但し } f_{+s} &= f_c + f_p, f_{-s} = f_c - f_p) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

で示される。また搬送波再生電圧 $E_c$ は側帯波の影響がないので、

$$E_c = I_c \cdot \phi(f_c, I_R) \dots\dots\dots (2)$$

で示される。

(1)(2)より、再生映像信号の周波数特性(再生信号の等価変調指数 $m_p'$ )は

$$\begin{aligned} m_p' &= \frac{E_{+s} + E_{-s}}{E_c} = \frac{I_s}{I_c} \left( \frac{\Psi_{+1} + \Psi_{-1}}{\phi} \right) = \frac{m_p}{2} (\xi_{+1} + \xi_{-1}) \dots\dots\dots (3) \\ \xi_{+1} &\equiv \frac{\Psi_{+1}(f_c, f_{+s}, I_R)}{\phi(f_c, I_R)} \\ \xi_{-1} &\equiv \frac{\Psi_{-1}(f_c, f_{-s}, I_R)}{\phi(f_c, I_R)} \end{aligned} \left. \right\} \dots\dots\dots (4)$$

で表現できる。

現用VTRの諸条件下では、関数 $\xi_{\pm 1}$ は一般に下側帯波に関しては $\xi_{-1} > 1$ であり、変調周波数 $f_p$ 、搬送周波数 $f_c$ 、記録電流 $I_R$ が高くなるいは大きくなるにしたがい増加する。これに対し上側帯波に関しては $\xi_{+1} < 1$ であり、 $f_p$ 、 $f_c$ 、 $I_R$ が高くなるいは大きくなるにしたがい減少する傾向はあるが変化は少なく、色副搬送波については、 $\xi_{-1}$ は2 dB~10 dB、 $\xi_{+1}$ は

-6 dB~-1 dB程度の値を示すことを見出した。(本文2-6-1~2-6-4節) これら特性を磁気記録の短波長記録再生機構の面から分析した結果、現用ビデオヘッド、ビデオテープの組み合わせの下では、再生機構によるものは、色副搬送波においても $\varepsilon_{-1}$ で0~2 dB、 $\varepsilon_{+1}$ で-1~-3 dB程度であり、 $\varepsilon_{\pm 1}$ 関数の値の大部分は記録機構によることを明らかにした。(本文2-6-5節)

これより、短波長記録時におけるテープのベクトル磁化過程と残留磁化パターンとの関係、残留磁化パターンの零値位置の変化など記録機構の検討を行なった。

この結果、従来より知られている記録減磁作用に伴う磁性層内残留磁化パターンの位相推移の現象に、FM信号の記録波形の零値位置が変化する現象を考慮することにより、 $\varepsilon_{\pm 1}$ 関数の傾向を定性的には説明することができた。(本文2-7節)

従来テープ、ヘッドの性能判断は、短波長感度によってなされてきたが、高性能VTR用のテープ、ヘッドは $\varepsilon_{\pm 1}$ 関数によって性能判断する必要がある。この観点に立って、NHKにおいては $\varepsilon_{\pm 1}$ 関数の値によって、テープ、ヘッドの選別を行ない好結果を得ている。

### 3 VTR信号系のノイズ特性と再生映像信号S/N

現用放送用VTRにおいては、再生映像信号のS/Nが一つの主要な改善項目となっている。S/N改善の方策としては、周波数偏移の拡大、ビデオエンファシスなどの信号処理方法によるものも使用されているが、前章に示したVTRテープ・ヘッド系のFM伝送特性からの制限を受けるので、VTR信号系全体の改善からは、VTRテープ・ヘッド系を中心としたRF帯でのN/C(ノイズ対搬送波レベル比)を小さくすることが第一に望まれる。

VTR信号系のノイズ測定法を確立し(本文3-3節)、第1表のように分類した各ノイズ源について定量的に比較を行ない、テープ変調ノイズがS/Nの支配的要因であることを明らかにした。(本文3-2節、3-7-1節)

第1表 VTR信号系のノイズ源

連続性ノイズ	{	テープノイズ	{	インピーダンスノイズ(抵抗分による熱ノイズ)
		ヘッドノイズ		
		増幅器ノイズ		
衝撃性ノイズ	{	ドロップアウト	{	テープの帯電による放電ノイズ
		テープの帯電による放電ノイズ		

以上により、現用ビデオテープの変調ノイズについて、テープ磁性層の物理的ゆらぎに直接関

係する直流磁化ノイズ（本文3-4-1節）との比較の上、ノイズのスペクトラム分布、 $N/O$ と搬送周波数、記録電流との関連、リミッターによる $N/O$ 改善効果など、ビデオテープの改善、VTR信号系の設計に必要な性質を実験的に検討し、

- ① 変調ノイズスペクトラムはテープの塗布むら、表面性の影響により、搬送波近傍で大きく離れるにしたがって減少し、現用ビデオテープでは5～10 dBの差がある。
- ② ノイズレベル低減のみの観点からは、塗布むら、表面性の改善により搬送波近傍ノイズは5 dB以上の改善が可能である。
- ③ 搬送波近傍ノイズ（特に視覚的に問題となる搬送波より1.5 MHz以内のノイズ）の $N/O$ は、ほぼ搬送波再生レベルの低下量の平方根に反比例する。
- ④ VTRの実用性からみた記録電流の動作範囲（最適値の $\pm 3$  dB以内）では記録電流によるノイズレベル差は $\pm 1$  dB以内である
- ⑤ テープ変調ノイズはAM性のものが主要素となっているため、再生系の周波数特性をほぼ平担として信号を伝送することが再生映像信号のノイズ最低の条件となるが、先に示したVTRテープ・ヘッド系のFM伝送特性より再生映像信号の歪を最小にする条件は再生系の周波数特性平担とはならない、このため、ノイズ最低の条件と歪最小の条件が一致せず、復調後の高域ノイズとなる成分は、リミッターを通して大部分FM性ノイズとして残る。現用VTRではリミッターによる $N/O$ 改善効果は搬送波より $\pm 0.5$  MHz以内で約10 dB、3 MHz離れた部分で約5 dBである。

などを明らかにした。（本文3-4節）

また、その他のノイズ源〔ヘッドノイズ（本文3-5節）、増幅器ノイズ（本文3-6節）〕についても定量的な検討を行ない、テープ変調ノイズとの比較を行なった結果、搬送周波数6 MHz付近に設定したVTR（ローバンド方式）では、再生映像信号の $S/N$ に関してはテープ変調ノイズのみが問題であり、これより搬送周波数を高く設定した場合には、その他のノイズも問題となることを明らかにしVTRの改善、特にビデオテープ、ビデオヘッドの改善の方向を明確にすることができた。（本文3-7節）

この観点に立ってビデオテープの改善を行ない〔富士写真フイルムKKと共同研究により高感度低ノイズビデオテープを試作（1966年5月発表）した〕、上記改善の方針について実験的にも確認した。

#### 4 VTR信号系の設計法

VTRの再生画質としては、 $S/N$ 、周波数特性、微分特性、反転現象などを考慮する必要がある

るが、これら各項目はVTRテープ・ヘッド系のFM伝送特性およびノイズ特性と密接な関係をもっている。

VTR信号系を設計するにあたっては搬送周波数、周波数偏移、ビデオエンファシス（エンファシス量、ターンオーバー周波数）、色副搬送波変調指数、記録系および再生系の周波数特性を決定する必要があるが、これらは画質を示す各項目と夫々交絡した関係にある。

よって、これらVTR信号系の設計における要決定項目と再生画質を示す各項目との関係をVTRテープ・ヘッド系のFM伝送特性およびノイズ特性により整理し、設計手順（本文4-2節）および設計方法〔搬送周波数および色副搬送波変調指数の決定法（本文4-4節）、周波数偏移量およびビデオエンファシスの決定法（本文4-5節）、イコライザーの設計法（本文4-6節）〕を明らかにした。

特に、2章に示した $\varepsilon_{\pm 1}$ 関数およびテープ変調ノイズの性質を信号系の設計法に導入し、VTR信号系の設計を容易なものとした。（例えば、再生映像信号の所要周波数特性、微分特性、S/Nを満足させるための再生イコライザーの設計・計算式、計算図表などを $\varepsilon_{\pm 1}$ 関数により求めた。）（本文4-6節）

本設計法により、前記高感度・低ノイズビデオテープおよびNHK総合技術研究所開発部試作のフレイトチップを用いたビデオヘッドを使用し、放送用カラーVTRの信号系を設計し実験した結果、従来のVTRの再生画質を劣化することなく、トラック幅を $\frac{1}{2}$ にすること、あるいは複製回数を従来より数回増加させうる可能性のあることを確かめることができた。（本文4-7節）

## 5 むすび

以上、VTRテープ・ヘッド系を一種のFM伝送路とみて、その再生画質におよぼす影響をその伝送特性、ノイズ特性などの点から検討し、VTR信号系設計の基礎を確立できた。

本研究は、放送用カラーVTRの信号系の設計を中心にとりまとめたが、以上の基礎となる考え方は一般の磁気録画装置の設計にも利用できる。

また、この面からビデオテープ、ビデオヘッドの今後の改善方向を指示できるものと考えられる。

なお、本研究はNHK総合技術研究所における「放送用VTRの国産化（1958年12月発表）」、「特殊VTRを使用したテレビ標準方式変換装置（1960年ローマオリンピックのテレビ放送に使用）」、「磁気録画によるテレビ信号の駒取り装置（1961年6月発表）」、「特殊VTRを使用したテレビ信号宇宙中継用帯域圧縮装置（1964年東京オリンピックのテレビ放送日米宇宙中継に使用）」、「高性能小形VTR（1966年5月発表）」などの開発研究において、各種

VTRの信号系の設計を筆者が担当するに際して調査検討した結果を、NHKにおいてその実用化を計画された「電算機によるVTR運用システム」に使用する高性能カラーVTRのPrototypeの設計を行なうためにとりまとめたものであることを付記する。

## 謝 辞

本研究をまとめるにあって、御指導を賜った東北大学岩崎教授、大泉教授、佐藤教授、津屋教授に厚く感謝の意を表するものである。

また本研究の機会を与えられ、日頃御指導御鞭撻をいただいているNHK総合技術研究所の関係上司および実験、討論に御協力いただいた研究室同僚諸氏、特に直接御指導いただいた鈴木元研究主幹、稲津記録技術研究部長に厚く御礼申し上げる。



## 審 査 結 果 の 要 旨

磁気録画装置(VTR)は、画質および運用性などにすぐれた特徴をもつため、テレビジョン放送において重要な役割を果たしているが、最近カラー放送の増加、編集および放送の自動化あるいは装置の小形化などの必要性から、その性能の向上が強く望まれている。

本論文は、放送用VTRの画質の改善を図るための設計法に関する研究をまとめたもので、全文5章よりなる。

第1章は序論である。第2章はVTRの画質と記録周波数帯域との関係について論じたものである。VTRでは映像信号を忠実に記録することが必要で、このため低搬送波の周波数変調(FM)記録法を用いているが、磁気記録系の非線形性によって、映像信号の高周波成分に歪みを生じ、これが画質劣化の原因となっている。著者は出力の上下両側帯波成分の不均衡率に着目し、これが短波長領域の磁気記録作用におけるFM波間の干渉作用によることを明らかにした。このためVTRの動的な記録周波数帯域を、前記の不均衡率を用いて表現するのが最も適切であることを示しているが、これは卓見である。これに基づき、種々の記録条件における不均衡率の測定を行ない、VTR信号伝送系の設計に有用な多くの図表を作成している。

第3章はVTRの画質と雑音との関係について論じたものである。現用の磁気テープは磁性酸化鉄粉末よりなるが、著者は先ず粉末の粒度・分散状態に基づく磁気テープ雑音が支配的であることを確かめ、種々の記録条件における雑音スペクトラム分布を測定し、特にFM記録法においては雑音が搬送波の波長及び記録レベルに著しく影響され、また磁気テープ表面の粗さに強く依存することを見出した。この関係は所望のSN比を示す記録条件を定める上に重要であり、この観点から現用の多くの磁気テープに関する定量的な評価を行なっている。

第4章は以上の結果に基づいて、VTR装置の最適設計法を論じたものである。すなわち前記の不均衡率及び磁気テープ雑音などを考慮した新たな設計図表を用いて、搬送周波数、周波数偏移、エンファシスなどのFM記録の条件及び記録・再生系の帯域特性など装置全般の設計法を詳細に述べている。本設計法によれば各部の動作の最適条件が満たされるために再生画質が著しく向上し、磁気テープ送り速度を $\frac{1}{2}$ に減少できること、あるいは自動編集、放送が極めて容易になることなどによって、放送システムの高性能化に大きく貢献している。第5章は結論である。

以上要するに本論文は磁気録画装置の画質を決める要因を分析し、これに基づいてその最適設計法を確立したもので、テレビジョン工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。